

EP1205732A2

Publication Title:

Inertial navigation unit comprising an integrated GPS receiver

Abstract:

Abstract of EP 1205732

(A2) The system has a inertial unit with an integrated GPS receiver or similar, this unit having Kalman filter members for combining the data coming from the inertial unit and from the GPS receiver. This unit has a first (K1) and second (K2) Kalman filter, each combining the inertial unit data and the GPS data between themselves, these two filters using different algorithms, different processors and different compilers.

Courtesy of <http://v3.espacenet.com>

(19)



Europäisches Patentamt

European Patent Office

Office européen des brevets



(11)

EP 1 205 732 A2

(12)

DEMANDE DE BREVET EUROPEEN

(43) Date de publication:

15.05.2002 Bulletin 2002/20

(51) Int Cl.7: G01C 21/16, G01S 5/14

(21) Numéro de dépôt: 01402890.6

(22) Date de dépôt: 09.11.2001

(84) Etats contractants désignés:

AT BE CH CY DE DK ES FI FR GB GR IE IT LI LU
MC NL PT SE TR

Etats d'extension désignés:

AL LT LV MK RO SI

(30) Priorité: 10.11.2000 FR 0014491

(71) Demandeur: Thales

75008 Paris (FR)

(72) Inventeurs:

- Coataniec, Jacques, Thales, Intellectual Property
94117 Arcueil Cedex (FR)
- Portal, Didier, Thales, Intellectual Property
94117 Arcueil Cedex (FR)
- Flaven, Cedric, Thales, Intellectual Property
94117 Arcueil Cedex (FR)

(74) Mandataire: Guérin, Michel

THALES Intellectual Property,
13, Avenue du Président Salvador Allende
94117 Arcueil Cédex (FR)

(54) Centrale inertielle de navigation comportant un récepteur GPS intégré

(57) L'invention concerne une centrale inertielle à récepteur GPS ou analogue intégré destinée à fournir un vecteur d'état d'un engin volant, cette centrale comprenant des moyens à filtrage de Kalman pour combiner les données provenant de la centrale inertielle et du récepteur GPS ou analogue.

Cette centrale inertielle comprend un premier (K_1)

et un second (K_2) filtres de Kalman, chacun d'eux combinant les données de la centrale inertielle et les données du récepteur GPS ou analogue, les deux filtrages de Kalman utilisant des algorithmes différents, des processeurs différents et des compilateurs différents.

Les données fournies par cette centrale inertielle sont très fiables.

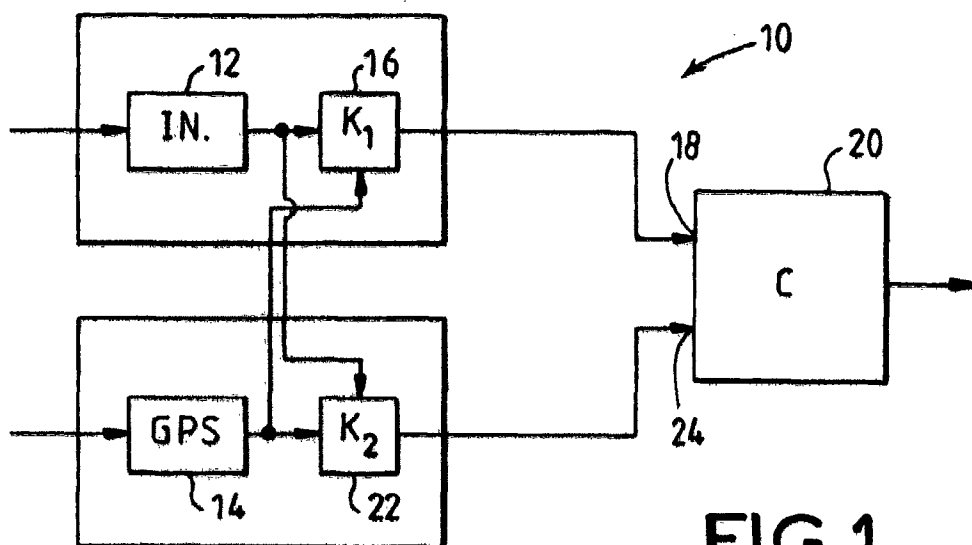


FIG.1

Description

[0001] L'invention est relative à un appareil destiné à fournir un vecteur d'état d'un engin volant.

[0002] Elle concerne plus particulièrement une centrale inertielle de navigation qui intègre un récepteur GPS.

[0003] Le vecteur d'état d'un engin volant est un vecteur représentant la position dans l'espace de l'engin, son vecteur vitesse en trois dimensions et les attitudes de l'engin, c'est-à-dire le roulis, le tangage et le cap.

[0004] Une centrale inertielle de navigation fournit un vecteur d'état. Mais les données obtenues avec une telle centrale inertielle n'ont pas toujours une précision suffisante. En particulier, on sait qu'une centrale inertielle présente une dérive et qu'au bout d'une heure de navigation, l'erreur sur la position est de quelques centaines de mètres. Cette précision est insuffisante pour certaines applications, notamment quand un avion doit voler à basse altitude. Pour améliorer la précision sur la position, on fait appel à un récepteur GPS ("Global Positioning System") qui, de façon en soi connue, détermine la position de l'avion à partir de signaux fournis par des satellites en orbite terrestre. La précision sur la position fournie par un récepteur GPS est de l'ordre de quelques dizaines de mètres. Cependant, un système GPS ne peut pas être utilisé seul car il est tributaire de la position de l'avion par rapport aux satellites et l'engin peut se trouver dans une position où il ne peut capter les signaux des satellites. C'est pourquoi, on fait appel à des centrales inertielles de navigation intégrant un récepteur GPS.

[0005] La combinaison ou hybridation des données fournies par un récepteur GPS et par la centrale inertielle de navigation est obtenue par un filtrage de Kalman. On sait qu'un filtrage de Kalman est un algorithme permettant d'obtenir la meilleure estimation de chaque composant d'un vecteur d'état.

[0006] Bien qu'une centrale de navigation combinée à un système GPS fournisse, pour la plupart des applications, un résultat fiable, cette fiabilité n'est pas suffisante pour certaines applications. Il en est ainsi, en particulier, quand l'avion vole en pilotage automatique à très basse altitude et à vitesse élevée. Le pilotage automatique consiste, notamment, à déterminer la position détectée de l'avion par rapport à une carte mémorisée et à piloter automatiquement l'engin de façon à éviter les obstacles indiqués par la carte.

[0007] Le faible degré de fiabilité associé au filtre de Kalman a pour origine le fait que les logiciels correspondants sont développés à l'aide de méthodes normalisées, telles que la méthode RTCA-DO-178B niveau C. Pour augmenter la fiabilité, il serait nécessaire de faire appel au niveau A de cette méthode, mais celle-ci n'est pas compatible avec le caractère non-déterministe des filtres de Kalman.

[0008] L'invention concerne donc une centrale inertielle de navigation intégrant un récepteur GPS dans la

quelle la combinaison des données fournies par la centrale à inertie et par le récepteur GPS est réalisée par filtrage de Kalman et dont le degré de fiabilité associé au vecteur d'état est élevé.

[0009] À cet effet, la centrale inertielle intégrant un récepteur GPS comprend, selon l'invention, deux filtres de Kalman présentant des algorithmes différents et installés dans des processeurs distincts et différents avec des compilateurs différents, et des moyens de comparaison des données fournies par les deux filtres de Kalman, les données étant validées si elles sont cohérentes, des mesures de sécurité étant prises si elles ne sont pas cohérentes.

[0010] L'utilisation de logiciels dissemblables installés sur des processeurs distincts et de nature différente avec des compilateurs différents augmente sensiblement la fiabilité puisqu'ainsi les erreurs ou pannes des logiciels seront aisément détectées grâce à la comparaison.

[0011] Il est à noter ici que par récepteur GPS, il faut comprendre un récepteur qui détermine une position en fonction de signaux reçus de satellites. Ainsi, l'invention n'est pas limitée au système GPS proprement dit ; elle s'applique à des systèmes analogues tels que des récepteurs pour le système GLONASS ou le système EGNOS.

[0012] Dans un mode de réalisation, le premier filtrage de Kalman est du type à axes satellites et le second filtrage de Kalman est du type à axes géographiques.

[0013] Dans un mode de réalisation, le premier processeur est celui de la centrale inertielle et le second processeur est celui du récepteur GPS.

[0014] La cohérence entre les résultats fournis par les deux filtres de Kalman est assurée quand, pour chaque coordonnée du vecteur d'état fournie par le premier filtre de Kalman, la coordonnée correspondante fournie par le second filtre de Kalman se trouve dans l'intervalle de confiance associé à la coordonnée fournie par ce premier filtre et, réciproquement, la coordonnée fournie par le premier filtre de Kalman se trouve dans l'intervalle de confiance associé à la coordonnée correspondante fournie par le second filtre.

[0015] Ainsi, l'invention concerne, de façon générale, une centrale inertielle à récepteur GPS ou analogue intégré destinée à fournir un vecteur d'état d'un engin volant, cette centrale comprenant des moyens à filtrage de Kalman pour combiner les données provenant de la centrale inertielle et du récepteur GPS ou analogue et cette centrale inertielle est caractérisée en ce qu'elle comprend un premier (K_1) et un second (K_2) filtres de Kalman, chacun d'eux combinant les données de la centrale inertielle et les données du récepteur GPS ou analogue, les deux filtrages de Kalman utilisant des algorithmes différents, des processeurs différents et des compilateurs différents.

[0016] Dans un exemple, le premier filtre de Kalman (K_1) fait appel à un algorithme à axes satellites et le second filtre de Kalman (K_2) fait appel à un algorithme à

axes géographiques.

[0017] Dans une réalisation, le premier filtre de Kalman fait appel à un processeur de la centrale inertielle et le second filtre de Kalman fait appel à un processeur du récepteur GPS ou analogue.

[0018] De préférence, la centrale inertielle comprend des moyens pour comparer les données fournies par les deux filtres de Kalman et pour valider les données fournies par au moins l'un des filtres quand les données ont des valeurs proches et pour fournir un signal d'indication de panne quand les données sont éloignées. Dans ce cas, il est avantageux de prévoir des moyens pour associer à chaque coordonnée du vecteur d'état fournie par chaque filtre de Kalman un intervalle de confiance tel que la coordonnée réelle se trouve avec une probabilité élevée à l'intérieur de cet intervalle, les moyens de comparaison déterminant si, pour chaque coordonnée fournie par le premier filtre de Kalman, la coordonnée correspondante fournie par le second filtre de Kalman se trouve dans l'intervalle de confiance associé à la coordonnée fournie par ce premier filtre et si la coordonnée fournie par le premier filtre de Kalman se trouve dans l'intervalle de confiance associé à la coordonnée correspondante fournie par le second filtre.

[0019] D'autres caractéristiques et avantages de l'invention apparaîtront avec la description de certains de ses modes de réalisation, celle-ci étant effectuée en se référant aux dessins ci-annexés sur lesquels :

la figure 1 est un schéma d'une centrale inertielle intégrant un récepteur GPS conforme à l'invention, et

la figure 2 est un schéma expliquant une étape du fonctionnement de la centrale représentée sur la figure 1.

[0020] L'exemple de l'invention que l'on va décrire en relation avec les figures concerne une centrale inertielle IN et un récepteur GPS utilisés pour le pilotage automatique d'avions, notamment à très basse altitude.

[0021] Cette centrale inertielle hybride fournit un vecteur d'état formé, d'une part, des trois coordonnées de la position de l'avion, ou engin volant, intégrant la centrale hybride, d'autre part du vecteur vitesse à trois dimensions de l'engin volant, et d'autre part enfin, des attitudes de l'avion, c'est-à-dire le roulis, le tangage et le cap. Les coordonnées de position et le vecteur vitesse sont fournis par la centrale inertielle et par le récepteur GPS tandis que les attitudes de l'engin volant sont fournies uniquement par la centrale inertielle.

[0022] L'hybridation des données fournies par la centrale inertielle et le récepteur GPS est obtenue par filtrage de Kalman.

[0023] Pour fiabiliser les données fournies par filtrage de Kalman, c'est-à-dire pour accroître la confiance qu'on peut accorder aux données fournies par la centrale inertielle à récepteur GPS intégré, on fait appel à deux filtrages de Kalman correspondant tout d'abord à

des algorithmes différents, à savoir, dans l'exemple, un algorithme à axes satellites et un algorithme à axes géographiques.

[0024] Ainsi, comme représenté sur la figure 1, la centrale inertielle à récepteur GPS intégré 10 comprend, d'une part, un calculateur 12 de mesure des vecteurs d'état fournis par la centrale inertielle et, d'autre part, un récepteur GPS comportant un calculateur 14 des vecteurs de position et de vitesse de l'engin volant. Au calculateur 12 est associé un processeur 16 dans lequel est installé un algorithme de Kalman K_1 du type à axes satellites qui fait appel, d'une part, aux données fournies par le calculateur 12 associé à la centrale inertielle et, d'autre part, aux données du calculateur 14 du récepteur GPS et qui délivre sur sa sortie un vecteur d'état qui est appliqué sur la première entrée 18 d'un comparateur 20. Dans une réalisation, le calculateur 12 et le processeur 16 forment un seul processeur.

[0025] Dans le processeur 22 associé au calculateur 14 du récepteur GPS est disposé un second algorithme de Kalman K_2 du type à axes géographiques qui reçoit ses données, d'une part, du calculateur 14 de coordonnées GPS et, d'autre part, du calculateur 12 fournissant le vecteur d'état calculé à partir de la centrale inertielle. Les données fournies par le filtre K_2 sont appliquées sur une seconde entrée 24 du comparateur 20. Dans une réalisation, les calculateurs 12 et 14 font appel au même processeur.

[0026] Pour assurer une fiabilité maximale, les processeurs dans lesquels sont installés les filtres K_1 et K_2 sont distincts et d'une nature différente. En outre, ces processeurs utilisent des compilateurs différents.

[0027] Les données fournies par les filtres de Kalman K_1 et K_2 sont comparées (bloc 20) de la façon suivante : à chaque coordonnée X_{ik1} du vecteur d'état fourni par le filtre K_1 , est associé un intervalle de confiance 30 (figure 2) qui est constitué par l'ensemble des valeurs comprises entre $X_{ik1}-r$ et $X_{ik1}+r$. L'intervalle de confiance est déterminé de façon telle qu'il existe une probabilité élevée, par exemple supérieure à 99,9%, que la coordonnée réelle soit à l'intérieur de cet intervalle de confiance.

[0028] De même, le filtre K_2 fournit pour la même coordonnée une valeur X_{ik2} à laquelle on associe un intervalle de confiance, c'est-à-dire un ensemble de valeurs comprises entre $X_{ik2}-r'$ et $X_{ik2}+r'$.

[0029] Le comparateur 20 détermine si la coordonnée X_{ik2} se trouve à l'intérieur de l'intervalle de confiance 30 et si la coordonnée X_{ik1} se trouve à l'intérieur de l'intervalle de confiance 32. S'il en est ainsi, les données estimées sont fiables et disponibles et on valide celles fournies par au moins l'un des filtres. Par contre, si le critère de comparaison mentionné ci-dessus n'est pas satisfait, les données sont estimées d'une fiabilité insuffisante. En outre, l'incohérence entre les données fournies par les deux filtres est une indication de panne.

Revendications

1. Centrale inertielle à récepteur GPS ou analogue intégré destinée à fournir un vecteur d'état d'un engin volant, cette centrale comprenant des moyens à filtrage de Kalman pour combiner les données provenant de la centrale inertielle et du récepteur GPS ou analogue, **caractérisée en ce qu'**elle comprend un premier (K_1) et un second (K_2) filtres de Kalman, chacun d'eux combinant les données de la centrale inertielle et les données du récepteur GPS ou analogue, les deux filtrages de Kalman utilisant des algorithmes différents, des processeurs différents et des compilateurs différents.

5
10
15
2. Centrale selon la revendication 1, **caractérisée en ce que** le premier filtre de Kalman (K_1) fait appel à un algorithme à axes satellites et le second filtre de Kalman (K_2) fait appel à un algorithme à axes géographiques.

20
3. Centrale selon la revendication 1 ou 2, **caractérisée en ce que** le premier filtre de Kalman fait appel à un processeur (16) de la centrale inertielle et le second filtre de Kalman fait appel à un processeur (22) du récepteur GPS ou analogue.

25
4. Centrale selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisée en ce qu'**elle comprend des moyens (20) pour comparer les données fournies par les deux filtres de Kalman et pour valider les données fournies par au moins l'un des filtres quand les données ont des valeurs proches et pour fournir un signal d'indication de panne quand les données sont éloignées.

30
35
5. Centrale selon la revendication 4, **caractérisée en ce qu'**elle comporte des moyens pour associer à chaque coordonnée du vecteur d'état fournie par chaque filtre de Kalman un intervalle de confiance tel que la coordonnée réelle se trouve avec une probabilité élevée à l'intérieur de cet intervalle, les moyens de comparaison déterminant si, pour chaque coordonnée fournie par le premier filtre de Kalman, la coordonnée correspondante fournie par le second filtre de Kalman se trouve dans l'intervalle de confiance (30) associé à la coordonnée fournie par ce premier filtre et si la coordonnée fournie par le premier filtre de Kalman se trouve dans l'intervalle de confiance (32) associé à la coordonnée correspondante fournie par le second filtre.

40
45
50

55

